

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

BSKB(703) 205-8000
KUMAGAI et al.
SN: 10/058,086
Filed: 1-29-02
1794-0147P

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 1月29日

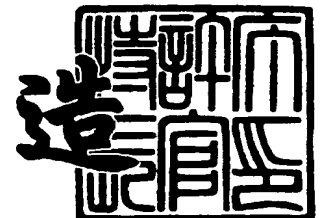
出 願 番 号
Application Number: 特願2001-020243
[ST.10/C]: [JP2001-020243]

出 願 人
Applicant(s): 理化学研究所

2002年 3月15日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3017847

【書類名】 特許願

【整理番号】 RK13001J

【提出日】 平成13年 1月29日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G21K 1/00

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所内

 【氏名】 熊谷 寛

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所内

 【氏名】 緑川 克美

【特許出願人】

 【識別番号】 000006792

 【氏名又は名称】 理化学研究所

【代理人】

 【識別番号】 100087000

 【住所又は居所】 東京都豊島区西池袋 1 - 5 - 1 1 - 4 0 4

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 上島 淳一

 【電話番号】 03-5992-2315

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 058609

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9207956

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却方法であって、
レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光を、所定の時間間隔でずらして順次に原子に照射するようにした
ものである原子のレーザー冷却方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の原子のレーザー冷却方法において、
前記所定の時間間隔は、1 光子の吸収・放出に要する時間たる原子の自然放出寿命の略 2 倍の時間間隔である
原子のレーザー冷却方法。

【請求項 3】 エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却装置であって、
所定波長のコヒーレント光を発生するコヒーレント光源と、
前記コヒーレント光源から出射されたコヒーレント光の偏光を制御して、所定の時間間隔で異なる偏光のコヒーレント光を原子に照射する偏光制御手段と
を有し、
前記偏光制御手段により照射されるコヒーレント光の偏光は、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光とそれぞれ対応した
ものである原子のレーザー冷却装置。

【請求項 4】 エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却装置であって、
レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光をそれぞれ出射する複数のコヒーレント光源を有し、

前記複数のコヒーレント光源から出射される複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光を、所定の時間間隔ですらして順次に原子に照射するようにしたものであり、

前記複数のコヒーレント光源から出射されるコヒーレント光の偏光は、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光とそれぞれ対応した

ものである原子のレーザー冷却装置。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の原子のレーザー冷却装置において、

前記複数のコヒーレント光源の少なくとも 1 つは、2 つの異なる偏光のコヒーレント光を選択的に出射する

ものである原子のレーザー冷却装置。

【請求項 6】 請求項 3、請求項 4 または請求項 5 のいずれか 1 項に記載の原子のレーザー冷却装置において、

前記所定の時間間隔は、1 光子の吸収・放出に要する時間たる原子の自然放出寿命の略 2 倍の時間間隔である

原子のレーザー冷却装置。

【請求項 7】 原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源であって、

所定波長のコヒーレント光を出射するモード同期（ロック）ピコ秒レーザーと

前記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーから出射される所定波長のコヒーレント光の波長変換を行う波長変換素子と、

前記波長変換素子により波長変換されたコヒーレント光から所望の波長のコヒーレント光を選択して出射する波長分散素子と、

波長分散素子から出射されたコヒーレント光の波長を計測し、該計測結果に基づいて、前記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーが所定波長のコヒーレント光を出射するように前記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーにシグナルを出力するフィードバック回路と

を有する原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源に関し、さらに詳細には、シリコン原子やゲルマニウム原子などのようにエネルギー準位における冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する際に用いて好適な原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源に関する。

【 0 0 0 2 】

【発明の背景】

近年、ボース・アインシュタイン凝縮の実証に始まって、原子波レーザーや非線形原子波光学の開拓など、原子のレーザー冷却の応用分野における進展には大変めざましいものがある。

【 0 0 0 3 】

このレーザー冷却応用分野において、これまでレーザー冷却の対象とされてきたアルカリ金属原子などの代わりに、シリコンやゲルマニウムなどの半導体原子をレーザー冷却することが実現できるようになれば、工学的観点からも新たな展開を期待することができ、その応用分野は計り知れないものがある。

【 0 0 0 4 】

このため、シリコンやゲルマニウムなどの半導体原子を含む各種の原子をレーザー冷却するための技術の提案が、強く要望されるようになってきている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上記したような従来からの要望に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、シリコンやゲルマニウムなどの半導体原子を含む各種の原子をレーザー冷却することを可能にした原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源を提供しようとするものである。

【 0 0 0 6 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明による原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源は、以下に説明するような手法に基づいてなされたものである。

【0007】

ここで、原子のレーザー冷却とは、原子がレーザー光と衝突（散乱）して光の吸収と自然放出とを繰り返すことにより、原子の運動エネルギーを自然放出光に逃がし、その結果、原子が冷却される冷却法を意味するものである。

【0008】

こうした原子のレーザー冷却の過程は、原子を十分に減速する段階と十分に減速した原子を冷却する段階とに分けることができる。そして、こうした原子の減速や原子の冷却には、図1に説明されているような散乱力が働いている。

【0009】

以下、「散乱力による原子の減速」と「散乱力による原子の冷却」とについて、それぞれ詳細に説明する。

【0010】

まず、散乱力による原子の冷却について説明するが、この散乱力による原子の冷却とは、所謂、「ドップラー冷却」である。即ち、ドップラーシフトが、自然幅の数倍程度まで減速された原子の冷却には最も効果的に作用する。

【0011】

ここで、自然放出を使って原子の冷却を行うには、放出光子の平均エネルギーが吸収光子の平均エネルギーより大きくなるということが必要である。ドップラー冷却とは、ドップラー効果を利用することにより、放出光子の平均エネルギーが吸収光子の平均エネルギーより大きくなるという状態を実現するものである。特に、効果的な負の離調量は、共鳴の自然幅（半値半幅）程度である。

【0012】

ところで、シリコンの自然幅（半値全幅）は28MHz程度であることから、ドップラー冷却には、それと同程度以下、即ち、28MHz程度の線幅のレーザ

ーが必要となる。また、このレーザーは、ドップラー冷却温度である 220 マイクロケルビンに到達するのに約 130 マイクロ秒かかるので、連続波 (CW: Continuous Wave) 光源とする必要がある。

【0013】

なお、シリコンの自然幅 (半値全幅) と、ドップラー冷却温度と、ドップラー冷却温度である 220 マイクロケルビンに到達するのに要する時間 (停止時間) とは、図 2 に示す数式により求められる。

【0014】

次に、散乱力による原子の減速について説明する。ここで、シリコンの融点は 1414℃であり、一方、ゲルマニウムの融点は 958.5℃であって、両者の融点はともに高融点である。

【0015】

電子ビーム蒸発により表面から飛び出したシリコン原子の速度は、約 1000 m/s (メートル毎秒) を中心としたボルツマン分布になる。その半値幅は約 1500 m/s 以上と広く、共鳴する周波数領域で約 6 GHz (ギガヘルツ) ある。

【0016】

即ち、速度拡がりによるドップラー拡がり (ドップラー幅) は、融点温度で約 6 GHz である。

【0017】

従って、単一周波数コヒーレント光源を用いた場合には、その単一周波数コヒーレント光源の周波数を時間とともに変化させてチャープ冷却することにより、原子を減速することが可能となる。

【0018】

一方、原子を減速するには、ピコ秒レーザーを用いるようにしてもよい。即ち、フーリエ変換限界のパルスでは、100 ピコ秒は 10 GHz の周波数帯域を持つことができる。つまり、ピコ秒レーザーを用いた場合には、ドップラー速度拡がりをしている原子ビームを同時に減速することができる。

【0019】

なお、ドップラー幅は、図3に示す数式により求められる。

【0020】

ここで、シリコン原子をレーザー冷却することが困難であるのは、上記したように冷却波長が短いという点だけではなく、基底状態におけるエネルギー準位、即ち、基底準位たる冷却下準位が複数の磁気副準位、具体的には3つの磁気副準位を有するという点に起因している。

【0021】

即ち、シリコン原子においては、基底準位たる冷却下準位として3つの磁気副準位が存在するため、アルカリ金属原子のような磁気光学トラップを作ることができず、このことがシリコン原子をレーザー冷却することの困難性の大きな原因となっていた。

【0022】

図4(a)(b)を参照しながらさらに詳細に説明すると、シリコン原子においては、基底状態におけるエネルギー準位、即ち、基底準位たる冷却下準位 ($3s^2 3p^2 \quad ^3P_1$, $J=1$) は、磁気量子数 m が「 $m=-1$ 」、「 $m=0$ 」および「 $m=+1$ 」の3つの磁気副準位が縮退している。

【0023】

ここで、シリコン原子をレーザー冷却するためには、シリコン原子にレーザー光を照射して励起し、基底状態の冷却下準位から励起準位たる冷却上準位 ($3s^2 3p^2 4s \quad ^3P_0$, $J=0$) へエネルギー準位を上げる必要がある。

【0024】

そして、シリコン原子はレーザー光の照射により励起されて冷却上準位へ上がることになるが、冷却下準位から冷却上準位へ励起されたシリコン原子は自然放出寿命を終えると、再び基底状態の冷却下準位へと戻ることになる。

【0025】

ところが、シリコン原子が冷却上準位から冷却下準位へ戻る際には、冷却上準位にあるシリコン原子は「 $m=-1$ 」と「 $m=0$ 」と「 $m=+1$ 」との3つの磁

気副準位へ3分の1ずつ均等に戻ることになる（図4（b）に示す連立微分方程式より解が得られる。）。

【0026】

一方、基底状態の冷却下準位の「 $m = -1$ 」の磁気副準位にあるシリコン原子は、右回りの偏光（ $\sigma +$ ）のレーザー光を照射された場合に冷却上準位へ励起されるものであり、また、基底状態の冷却下準位の「 $m = 0$ 」の磁気副準位にあるシリコン原子は、直線偏光（ π ）のレーザー光を照射された場合に冷却上準位へ励起されるものであり、また、基底状態の冷却下準位の「 $m = +1$ 」の磁気副準位にあるシリコン原子は、左回りの偏光（ $\sigma -$ ）のレーザー光を照射された場合に冷却上準位へ励起されるものである。

【0027】

従って、例えば、直線偏光のレーザー光をシリコン原子に照射することによりレーザー冷却を行おうとした場合には、基底状態の冷却下準位の中で「 $m = 0$ 」の磁気副準位にあるシリコン原子のみが冷却上準位へ励起されることになる。そして、冷却上準位へ励起されたシリコン原子は、自然放出寿命を経過した後にその3分1ずつしか基底状態の冷却下準位の中の「 $m = 0$ 」の磁気副準位へ戻らないので、次第に基底状態の冷却下準位から冷却上準位へ励起されるシリコン原子の数が減って行き、アルカリ金属原子のような磁気光学トラップを作ることができないものであった。

【0028】

また、同様に、ゲルマニウム原子も冷却下準位として複数の磁気副準位が存在するため、レーザー冷却することが困難であった。

【0029】

本発明は、こうした困難性を克服するために、冷却下準位として複数の磁気副準位が存在する原子をレーザー冷却するにあたって、基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の偏光を有するレーザー光をそれぞれ、所定の時間間隔でずらして順次に原子に照射するようにしたものである。即ち、所定の時間毎に順番に異なる偏光のレーザー光を繰り返し照射するように、時間的にレーザー光の偏光を制御するものである。

【 0 0 3 0 】

そして、このように所定の時間毎に順番に異なる偏光のレーザー光を繰り返し照射する場合に、1光子の吸収・放出に要する時間、即ち、原子の自然放出寿命の2倍の時間間隔で光子が次々と原子に当たるようにすると、基底状態の冷却下準位にある原子を効率的に冷却上準位へ励起することができる。

【 0 0 3 1 】

そして、本発明のうち請求項1に記載の発明は、エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却方法であって、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光を、所定の時間間隔でずらして順次に原子に照射するようにしたものである。

【 0 0 3 2 】

また、本発明のうち請求項2に記載の発明は、本発明のうち請求項1に記載の発明において、上記所定の時間間隔を、1光子の吸収・放出に要する時間たる原子の自然放出寿命の略2倍の時間間隔としたものである。

【 0 0 3 3 】

また、本発明のうち請求項3に記載の発明は、エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却装置であって、所定波長のコヒーレント光を発生するコヒーレント光源と、上記コヒーレント光源から出射されたコヒーレント光の偏光を制御して、所定の時間間隔で異なる偏光のコヒーレント光を原子に照射する偏光制御手段とを有し、上記偏光制御手段により照射されるコヒーレント光の偏光は、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光とそれぞれ対応したものである。

【 0 0 3 4 】

また、本発明のうち請求項4に記載の発明は、エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子の

レーザー冷却装置であって、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光をそれぞれ出射する複数のコヒーレント光源を有し、上記複数のコヒーレント光源から出射される複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光を、所定の時間間隔でずらして順次に原子に照射するようにしたものであり、上記複数のコヒーレント光源から出射されるコヒーレント光の偏光は、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光とそれぞれ対応したものである。

【 0 0 3 5 】

また、本発明のうち請求項 5 に記載の発明は、本発明のうち請求項 4 に記載の発明において、上記複数のコヒーレント光源の少なくとも 1 つは、2 つの異なる偏光のコヒーレント光を選択的に出射するようにしたものである。

【 0 0 3 6 】

また、本発明のうち請求項 6 に記載の発明は、本発明のうち請求項 3、請求項 4 または請求項 5 のいずれか 1 項に記載の発明において、上記所定の時間間隔を、1 光子の吸収・放出に要する時間たる原子の自然放出寿命の略 2 倍の時間間隔としたものである。

【 0 0 3 7 】

また、本発明のうち請求項 7 に記載の発明は、原子のレーザー冷却に用いるコヒーレント光源であって、所定波長のコヒーレント光を出射するモード同期（ロック）ピコ秒レーザーと、上記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーから出射される所定波長のコヒーレント光の波長変換を行う波長変換素子と、上記波長変換素子により波長変換されたコヒーレント光から所望の波長のコヒーレント光を選択して出射する波長分散素子と、波長分散素子から出射されたコヒーレント光の波長を計測し、該計測結果に基づいて、上記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーが所定波長のコヒーレント光を出射するように上記モード同期（ロック）ピコ秒レーザーにシグナルを出力するフィードバック回路とを有するようにしたものである。

【 0 0 3 8 】

【発明の実施の形態】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明の偏光制御による原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに光源装置の実施の形態の一例を詳細に説明する。

【0039】

図5には、本発明における偏光制御による原子のレーザー冷却装置（以下、「本発明レーザー冷却装置」と適宜に称する。）の実施の形態の一例の概念構成説明図が示されている。なお、この図5に示す本発明レーザー冷却装置は、シリコン原子を冷却する際に用いて好適なものである。

【0040】

即ち、この本発明レーザー冷却装置50は、コヒーレント光源装置たる2段階の外部共振器型波長変換部52と、外部共振器型波長変換部52から出射されたコヒーレント光たるレーザー光の位相を変調することにより偏光を変化させる偏光制御部54とを有して構成されている。

【0041】

外部共振器型波長変換部52の1段目では、 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 第2高調波励起のリング型単一モードチタンサファイアレーザー光（波長746nm）を外部共振器に導き、共振器内のLBO結晶により波長373nmの第2高調波を40%の変換効率で発生させている。

【0042】

続いて2段目では、この波長373nmの光と波長780nmの単一モード半導体レーザー光を第2の外部共振器に導き、2波長の同時共振をさせることにより各々の光強度を同時に増大させ、共振器内のBBO結晶による和周波混合により60mWを越える252nmの光を発生させている。

【0043】

偏光制御部54では、複屈折結晶から構成される電気光学素子と波長板との組み合わせにより位相変調器を構成し、時間的に偏光を制御している。

【0044】

ここで、電気光学素子とは、複屈折結晶に印加した電界によって屈折率が変化

し、そこを通過するレーザー光の位相を変化させるものである。

【0045】

図6には、複屈折結晶によるレーザー光の位相の変化の様子が示されている。複屈折結晶によれば、図6(a)に示すように、o軸とe軸との間で位相が $-\pi/2$ がずれた場合には、左回りの偏光($\sigma-$)が実現される。また、図6(b)に示すように、o軸とe軸との間で位相のずれがない場合には、直線偏光(π)が実現される。さらに、図6(c)に示すように、o軸とe軸との間で位相が $\pi/2$ がずれた場合には、右回りの偏光($\sigma+$)が実現される。

【0046】

ここで、図7に示すように、1光子の吸収・放出に要する時間は、自然放出寿命(τ)の2倍となる。具体的にシリコン原子について説明すると、自然放出寿命は5.5 ns (ナノ秒) ($\tau = 5.5 \text{ ns}$)であり、自然放出寿命(τ)の2倍は11 ns ($2\tau = 11 \text{ ns}$)である。

【0047】

従って、シリコン原子においては、11 ns 毎に光子が当たると効率的に1光子の吸収・放出が行われて、シリコン原子の冷却が行われる。

【0048】

ここで、周期は「 $11 \text{ ns} \times 4 = 44 \text{ ns}$ 」であるので、位相変調器の周波数 f_m が22.7 MHz (メガヘルツ) より下であれば、シリコン原子の冷却を行うことができる。

【0049】

そして、図4(c)に示すように、自然放出寿命の略2倍の時間間隔である12.5 ns 毎に、シリコン原子に照射されるレーザー光の偏光を右回り偏光($\sigma+$)と直線偏光(π)と左回りの偏光($\sigma-$)とに順次に変化させることによって、シリコン原子を冷却することができる。

【0050】

シリコン原子をレーザー冷却する際に1つの偏光方向の光を用いる場合には、冷却下準位の3つの磁気副準位のうち2つの暗準位になっている冷却サイクルが閉じなくなるが、上記したように時間的に偏光方向を変化させることで、暗準位

を作ることなく冷却サイクルを閉じることができる。このため、シリコン原子をレーザー冷却することができるようになる。

【 0 0 5 1 】

なお、レーザー光を照射する光源としては、散乱力によりシリコン原子を減速させる場合と、散乱力によりシリコン原子を冷却させる場合とに応じて、CWレーザー（連続レーザー）とピコ秒レーザーとを適宜に使い分けるようにすればよい。

【 0 0 5 2 】

図 5 には、1 台のコヒーレント光源装置を用いて原子をレーザー冷却する場合について説明したが、次に、図 8（a）（b）を参照しながら、3 台のコヒーレント光源装置を用いてシリコン原子やゲルマニウム原子をレーザー冷却する場合について説明する。

【 0 0 5 3 】

即ち、図 8（a）に示す本発明レーザー冷却装置 8 0 は、右回り偏光（ $\sigma+$ ）のコヒーレント光（例えば、レーザー光）を照射する第 1 コヒーレント光源装置 8 1 と、この第 1 コヒーレント光源装置 8 1 から照射されたコヒーレント光を反射する反射ミラー 8 2 と、直線偏光（ π ）のコヒーレント光（例えば、レーザー光）を照射する第 2 コヒーレント光源装置 8 3 と、この第 2 コヒーレント光源装置 8 3 から照射されたコヒーレント光を反射する反射ミラー 8 4 と、左回り偏光（ $\sigma-$ ）のコヒーレント光（例えば、レーザー光）を照射する第 3 コヒーレント光源装置 8 5 と、この第 3 コヒーレント光源装置 8 5 から照射されたコヒーレント光を反射する反射ミラー 8 6 とを有している。

【 0 0 5 4 】

この図 8（a）に示す本発明レーザー冷却装置 8 0 においては、図 8（b）に示すように、原子の自然放出寿命の略 2 倍の時間間隔を開けて、第 1 コヒーレント光源装置 8 1 と第 2 コヒーレント光源装置 8 3 と第 3 コヒーレント光源装置 8 5 とを順次に交互に照射すればよい。

【 0 0 5 5 】

次に、図 9 (a) (b) を参照しながら、2 台のコヒーレント光源装置を用いてシリコン原子やゲルマニウム原子をレーザー冷却する場合について説明する。

【 0 0 5 6 】

即ち、図 9 (a) に示す本発明レーザー冷却装置 9 0 は、偏光を右回り偏光 ($\sigma +$) と左回り偏光 ($\sigma -$) とに交互に切り替えながらコヒーレント光 (例えば、レーザー光) を照射する第 1 コヒーレント光源装置 9 1 と、この第 1 コヒーレント光源装置 9 1 から照射されたコヒーレント光を反射する反射ミラー 9 2 と、直線偏光 (π) のコヒーレント光 (例えば、レーザー光) を照射する第 2 コヒーレント光源装置 9 3 と、この第 2 コヒーレント光源装置 9 3 から照射されたコヒーレント光を反射する反射ミラー 9 4 とを有している。

【 0 0 5 7 】

この図 9 (a) に示す本発明レーザー冷却装置 9 0 においては、図 9 (b) に示すように、それぞれ原子の自然放出寿命の略 2 倍の時間間隔を開けて、「第 1 コヒーレント光源装置 9 0 から右回り偏光 ($\sigma +$) のコヒーレント光を照射→第 2 コヒーレント光源装置 9 3 から直線偏光 (π) のコヒーレント光を照射→第 1 コヒーレント光源装置 9 0 から左回り偏光 ($\sigma -$) のコヒーレント光を照射→第 2 コヒーレント光源装置 9 3 から直線偏光 (π) のコヒーレント光を照射→第 1 コヒーレント光源装置 9 0 から右回り偏光 ($\sigma +$) のコヒーレント光を照射→第 2 コヒーレント光源装置 9 3 から直線偏光 (π) のコヒーレント光を照射→第 1 コヒーレント光源装置 9 0 から左回り偏光 ($\sigma -$) のコヒーレント光を照射→・・・」という順番で照射する。

【 0 0 5 8 】

次に、図 1 0 を参照しながら、散乱力によるシリコン原子の減速を行うための光源装置 (以下、「シリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源」と称する。) について説明する。

【 0 0 5 9 】

このシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源 1 0 0 は、後述する図 1 1 に示す

装置のコヒーレント光源装置として用いるのみならず、上記した図5、図8（a）ならびに図（9）（a）に示す装置のコヒーレント光源装置として用いることができる。

【0060】

この、シリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源100は波長252.4 nmのコヒーレント光を照射することができるように設定されており、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー101と、第1波長変換素子102と、第2波長変換素子103と、波長分散素子104と、半透過ミラー105と、全反射ミラー106と、レーザー波長分光部107と、周波数制御用エラーシグナル発生器108とを有して構成されている。なお、半透過ミラー105と、全反射ミラー106と、レーザー波長分光部107と、周波数制御用エラーシグナル発生器108とによって、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー101へフィードバック信号としてエラーシグナルを入力するためのフィードバック回路が形成されている。

【0061】

ここで、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー101は、波長757 nmでパルス幅1 ps～1000 ps（フーリエ変換限界パルスで周波数幅1000 GHz～1 GHz）のコヒーレント光を出射する。

【0062】

まず、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー101から出射された波長757 nmのコヒーレント光は第1波長変換素子102に入射され、第1波長変換素子102により波長757 nmのコヒーレント光とその第2高調波の波長378 nmのコヒーレント光とが得られる。

【0063】

そして、第1波長変換素子102から出射された波長757 nmおよび波長378 nmのコヒーレント光は第2波長変換素子103に入射され、第2波長変換素子103により波長757 nmのコヒーレント光とその第2高調波の波長378 nmのコヒーレント光とその第3高調波の252.4 nmのコヒーレント光とが得られる。

【0064】

さらに、第 2 波長変換素子 1 0 3 から出射された波長 7 5 7 n m、波長 3 7 8 n m および波長 2 5 2 . 4 n m のコヒーレント光は波長分散素子 1 0 4 に入射され、波長分散素子 1 0 4 からは波長 2 5 2 . 4 n m のコヒーレント光のみ出射され、半透過ミラー 1 0 5 を透過してシリコン原子の散乱力による減速のために用いられる。なお、波長分散素子 1 0 4 は、例えば、プリズム、グレーティング、多層膜ミラーあるいはフィルターなどにより構成される。

【 0 0 6 5 】

一方、半透過ミラー 1 0 5 により反射された波長 2 5 2 . 4 n m のコヒーレント光は、全反射ミラー 1 0 6 によって反射されて、波長計やシリコンホローカソード管などから構成されるレーザー波長分光部 1 0 7 に入射される。

【 0 0 6 6 】

このレーザー波長分光部 1 0 7 において入射されたコヒーレント光の波長が計測され、その計測結果が周波数制御用エラーシグナル発生器 1 0 8 へ入力される。

【 0 0 6 7 】

周波数制御用エラーシグナル発生器 1 0 8 においては、入力された計測結果に基づいて、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー 1 0 1 が常に波長 7 5 7 n m のコヒーレント光を発生するようにエラーシグナルをフィードバックする。

【 0 0 6 8 】

こうしたフィードバック制御により、常に波長 2 5 2 . 4 n m のコヒーレント光をシリコン原子に照射することが可能となる。

【 0 0 6 9 】

次に、図 1 1 を参照しながら、1 台のシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源 1 0 0 をコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源）について説明する。なお、図 1 0 に示した構成と同一の構成には、図 1 0 に用いた符号と同一の符号を用いて示すことにより、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 7 0 】

この本発明レーザー冷却装置 1 1 0 は、偏光制御部として、第 1 半波長板 1 1 1 と、位相変調器 1 1 2 と、第 2 半波長板 1 1 3 と、変調器ドライバー 1 1 4 と、周波数変換器 1 1 5 とが配設されている。

【 0 0 7 1 】

ここで、周波数変換器 1 1 5 はモード同期周波数を入力され、そのモード同期周波数を周波数変換することにより、シリコン原子の自然放出寿命の略 2 倍の周期で変調器ドライバー 1 1 4 から変調信号が位相変調器 1 1 2 に出力されるように、変調器ドライバー 1 1 4 に制御信号を出力する。即ち、位相変調器 1 1 2 から出力されるコヒーレント光の偏光が、シリコン原子の自然放出寿命の略 2 倍の周期で切り替わるように設定されている。

【 0 0 7 2 】

つまり、この偏光制御部により、波長 2 5 2 . 4 n m のコヒーレント光の偏光が、自然放出寿命の略 2 倍の周波数で切り替わるように制御されることになる。

【 0 0 7 3 】

次に、図 1 2 を参照しながら、1 台の波長 2 5 2 . 4 n m の C W レーザーをコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したシリコン減速／冷却用 C W コヒーレント光源）について説明する。

【 0 0 7 4 】

この本発明レーザー冷却装置 1 2 0 は、シリコン原子に関して散乱力による減速と散乱力による冷却との双方を実施することができる。

【 0 0 7 5 】

即ち、本発明レーザー冷却装置 1 2 0 は、コヒーレント光源装置として波長 2 5 2 . 4 n m のシリコン用 C W レーザー 1 2 1 を用いるとともに、偏光制御部として、第 1 半波長板 1 2 2 と、位相変調器 1 2 3 と、第 2 半波長板 1 2 4 と、変調器ドライバー 1 2 5 と、発振器 1 2 6 と、第 1 レンズ 1 2 7 a と、音響光学素子 1 2 8 と、第 2 レンズ 1 2 7 b と、音響光学素子ドライバー 1 2 9 とが配設されている。

【 0 0 7 6 】

ここで、シリコン原子を散乱力により減速する場合には、音響光学素子 1 2 8 を使用して時間的に周波数を変化させて、チャープ冷却を行う。

【0 0 7 7】

また、シリコン原子を散乱力により冷却する際には、音響光学素子 1 2 8 は時間的に偏光を分離する効果と周波数を最適化するのに都合がよい。

【0 0 7 8】

なお、シリコン用 CW レーザー 1 2 1 と第 1 半波長板 1 2 2 との間に電気光学シフター（EO シフター）を追加で組み込んで周波数シフト量をかせいだ方がチャープ冷却には有効な場合があるので、適宜に電気光学シフターを当該位置に配設するようにしてよい。

【0 0 7 9】

なお、上記においては、本発明をシリコン原子の冷却に適用することを中心に説明したが、本発明はゲルマニウム原子にも同様に適用することができることは勿論である。

【0 0 8 0】

次に、図 1 3 を参照しながら、散乱力によるゲルマニウム原子の減速を行うための光源装置（以下、「ゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源」と称する。）について説明する。

【0 0 8 1】

このゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源 1 3 0 は、後述する図 1 4 に示す装置のコヒーレント光源装置として用いるのみならず、上記した図 5、図 8（a）ならびに図（9）（a）に示す装置のコヒーレント光源装置として用いることができる。

【0 0 8 2】

この、ゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源 1 3 0 は波長 2 7 1 . 0 n m のコヒーレント光を照射することができるよう設定されており、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー 1 3 1 と、第 1 波長変換素子 1 3 2 と、第 2 波長変換素子 1 3 3 と、波長分散素子 1 3 4 と、半透過ミラー 1 3 5 と、全反射ミラー 1

36と、レーザー波長分光部137と、周波数制御用エラースIGNAL発生器138とを有して構成されている。なお、半透過ミラー135と、全反射ミラー136と、レーザー波長分光部137と、周波数制御用エラースIGNAL発生器138とによって、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー131へフィードバック信号としてエラースIGNALを入力するためのフィードバックループが形成されている。

【0083】

ここで、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー131は、波長813nmでパルス幅1ps～1000ps（フーリエ変換限界パルスで周波数幅1000GHz～1GHz）のコヒーレント光を出射する。

【0084】

まず、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー131から出射された波長813nmのコヒーレント光は第1波長変換素子132に入射され、第1波長変換素子132により波長813nmのコヒーレント光とその第2高調波の波長406.5nmのコヒーレント光とが得られる。

【0085】

そして、第1波長変換素子132から出射された波長813nmおよび波長406.5nmのコヒーレント光は第2波長変換素子133に入射され、第2波長変換素子133により波長813nmのコヒーレント光とその第2高調波の波長406.5nmのコヒーレント光とその第3高調波の271.0nmのコヒーレント光とが得られる。

【0086】

さらに、第2波長変換素子133から出射された波長813nm、波長406.5nmおよび波長271.0nmのコヒーレント光は波長分散素子134に入射され、波長分散素子134からは波長271.0nmのコヒーレント光のみ出射され、半透過ミラー135を透過してゲルマニウム原子の散乱力による減速のために用いられる。なお、波長分散素子134は、例えば、プリズム、グレーティング、多層膜ミラーあるいはフィルターなどにより構成される。

【0087】

一方、半透過ミラー 1 3 5 により反射された波長 2 7 1 . 0 n m のコヒーレント光は、全反射ミラー 1 3 6 によって反射されて、波長計やゲルマニウムホローカソード管などから構成されるレーザー波長分光部 1 3 7 に入射される。

【 0 0 8 8 】

このレーザー波長分光部 1 3 7 において入射されたコヒーレント光の波長が計測され、その計測結果が周波数制御用エラーシグナル発生器 1 3 8 へ入力される。

【 0 0 8 9 】

周波数制御用エラーシグナル発生器 1 3 8 においては、入力された計測結果に基づいて、モード同期（ロック）ピコ秒レーザー 1 3 1 が常に波長 8 1 3 n m のコヒーレント光を発生するようにエラーシグナルをフィードバックする。

【 0 0 9 0 】

こうしたフィードバック制御により、常に波長 2 7 1 . 0 n m のコヒーレント光をゲルマニウム原子に照射することが可能となる。

【 0 0 9 1 】

次に、図 1 4 を参照しながら、1 台のゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源 1 3 0 をコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源）について説明する。なお、図 1 3 に示した構成と同一の構成には、図 1 3 に用いた符号と同一の符号を用いて示すことにより、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 9 2 】

この本発明レーザー冷却装置 1 4 0 は、偏光制御部として、第 1 半波長板 1 4 1 と、位相変調器 1 4 2 と、第 2 半波長板 1 4 3 と、変調器ドライバー 1 4 4 と、周波数変換器 1 4 5 とが配設されている。

【 0 0 9 3 】

ここで、周波数変換器 1 4 5 はモード同期周波数を入力され、そのモード同期周波数を周波数変換することにより、ゲルマニウム原子の自然放出寿命の略 2 倍の周期で変調器ドライバー 1 4 4 から変調信号が位相変調器 1 4 2 に出力される

ように、変調器ドライバー 1 4 4 に制御信号を出力する。即ち、位相変調器 1 4 2 から出力されるコヒーレント光の偏光が、ゲルマニウム原子の自然放出寿命の略 2 倍の周期で切り替わるように設定されている。

【 0 0 9 4 】

つまり、この偏光制御部により、波長 2 7 1 . 0 n m のコヒーレント光の偏光が、自然放出寿命の略 2 倍の周波数で切り替わるように制御されることになる。

【 0 0 9 5 】

次に、図 1 5 を参照しながら、1 台の波長 2 7 1 n m の C W レーザーをコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速／冷却用 C W コヒーレント光源）について説明する。

【 0 0 9 6 】

この本発明レーザー冷却装置 1 5 0 は、ゲルマニウム原子に関して散乱力による減速と散乱力による冷却との双方を実施することができる。

【 0 0 9 7 】

即ち、本発明レーザー冷却装置 1 5 0 は、コヒーレント光源装置として波長 2 7 1 n m のゲルマニウム用 C W レーザー 1 5 1 を用いるとともに、偏光制御部として、第 1 半波長板 1 5 2 と、位相変調器 1 5 3 と、第 2 半波長板 1 5 4 と、変調器ドライバー 1 5 5 と、発振器 1 5 6 と、第 1 レンズ 1 5 7 a と、音響光学素子 1 5 8 と、第 2 レンズ 1 5 7 b と、音響光学素子ドライバー 1 5 9 とが配設されている。

【 0 0 9 8 】

ここで、ゲルマニウム原子を散乱力により減速する場合には、音響光学素子 1 5 8 を使用して時間的に周波数を変化させて、チャープ冷却を行う。

【 0 0 9 9 】

また、ゲルマニウム原子を散乱力により冷却する際には、音響光学素子 1 5 8 は時間的に偏光を分離する効果と周波数を最適化するのに都合がよい。

【 0 1 0 0 】

なお、ゲルマニウム用 C W レーザー 1 5 1 と第 1 半波長板 1 5 2 との間に電気

光学シフター（EOシフター）を追加で組み込んで周波数シフト量をかせいだ方がチャープ冷却には有効な場合があるので、適宜に電気光学シフターを当該位置に配設するようにしてよい。

【0101】

なお、上記した実施の形態においては、冷却対象の原子としてシリコン原子とゲルマニウム原子を取り扱ったが、これに限られるものではないことは勿論であり、冷却対象の原子として種々の元素の原子を取り扱うようにすることができる。

【0102】

即ち、取り扱う原子を構成する所定の種類の原子、例えば、各種の同位体の中の所望のものの原子共鳴線と一致もしくは正または負に離調した波長を備えたコヒーレント光を、コヒーレント光源装置から当該原子ビームに照射することにより、上記した実施の形態と同様の作用効果を得ることができる。

【0103】

【発明の効果】

本発明は、以上説明したように構成されているので、シリコンやゲルマニウムなどの半導体原子を含む各種の原子をレーザー冷却することを可能にした偏光制御による原子のレーザー冷却方法およびその装置ならびに光源装置を提供することができるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

中性原子に働く力（散乱力）の説明図である。

【図2】

シリコンの自然幅（半値全幅）と、ドップラー冷却温度と、ドップラー冷却温度である220マイクロケルビンに到達するのに要する時間（停止時間）とを求める数式を示す図表である。

【図3】

ドップラー幅を求める数式を示す図表である。

【図 4】

本発明の原理を示す説明図であり、(a) はエネルギー準位を示し、(b) は各エネルギー準位に存在するシリコン原子の数を求めるための連立微分方程式であり、(c) は各偏光のコヒーレント光を照射するタイミングを示すタイミングチャートである。

【図 5】

本発明における偏光制御による原子のレーザー冷却装置の実施の形態の一例の概念構成説明図である。

【図 6】

複屈折結晶によるレーザー光の位相の変化の様子を示す説明図であり、(a) は o 軸と e 軸との間で位相が $-\pi/2$ がずれた場合に左回りの偏光 ($\sigma-$) となることを示し、(b) は o 軸と e 軸との間で位相のずれがない場合に直線偏光 (π) となることを示し、(c) は o 軸と e 軸との間で位相が $\pi/2$ がずれた場合に右回りの偏光 ($\sigma+$) となることを示す。

【図 7】

1 光子の吸収・放出に要する時間が自然放出寿命 (τ) の 2 倍となることを示す説明図である。

【図 8】

3 台のコヒーレント光源装置を用いて原子をレーザー冷却する場合を示す説明図であり、(a) は装置構成の概略説明図であり、(b) は各偏光のコヒーレント光を照射するタイミングを示すタイミングチャートである。

【図 9】

2 台のコヒーレント光源装置を用いて原子をレーザー冷却する場合を示す説明図であり、(a) は装置構成の概略説明図であり、(b) は各偏光のコヒーレント光を照射するタイミングを示すタイミングチャートである。

【図 10】

散乱力によるシリコン原子の減速を行うための光源装置の構成説明図である。

【図 11】

1 台のシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源をコヒーレント光源装置として

用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源）の構成説明図である。

【図 1 2】

1 台の波長 2 5 2 . 4 n m の C W レーザーをコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したシリコン減速／冷却用 C W コヒーレント光源）の構成説明図である。

【図 1 3】

散乱力によるゲルマニウム原子の減速を行うための光源装置の構成説明図である。

【図 1 4】

1 台のゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源をコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速用ピコ秒コヒーレント光源）の構成説明図である。

【図 1 5】

1 台の波長 2 7 1 n m の C W レーザーをコヒーレント光源装置として用いた本発明レーザー冷却装置（偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速／冷却用 C W コヒーレント光源）の構成説明図である。

【符号の説明】

5 0	本発明レーザー冷却装置
5 2	外部共振器型波長変換部
5 4	偏光制御部

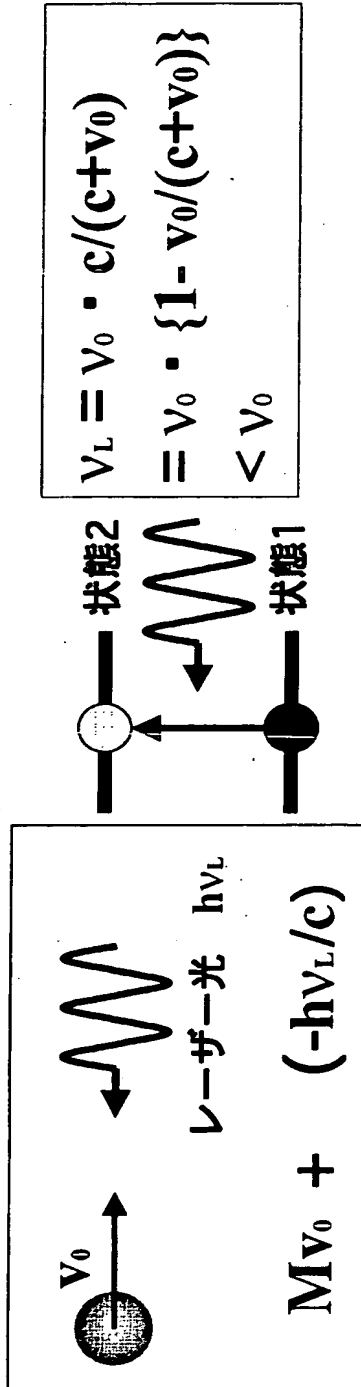
【書類名】

図面

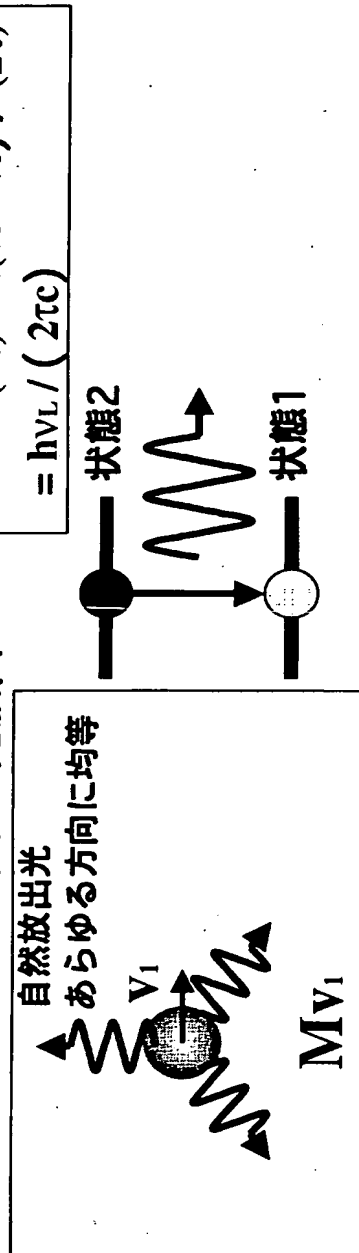
【図 1】

中性原子に働く力（散乱力）

・等速運動している原子の光吸収



・等速運動している原子の光放出



【図 2】

停止時間

$$t = 2N\tau = 2 \cdot 11476 \cdot 5.524861878\text{ns} = 126.8 \mu\text{s}$$

$$\text{自然幅 } \Delta\nu (= \gamma) = 1/(2\pi\tau) = 1/(2 \times 3.141592654 \times 5.52486\text{ns}) = 28.807054\text{MHz}$$

$$\text{ドップラー冷却温度 } kTD = h/(2\pi) \cdot \gamma = 6.6260755 \times 10^{-34} / 2 / 3.141592654 / (2 \times 3.141592654 \times 5.52\text{ns}) = 220.227 \mu\text{K}$$

【図 3】

ドップラー幅

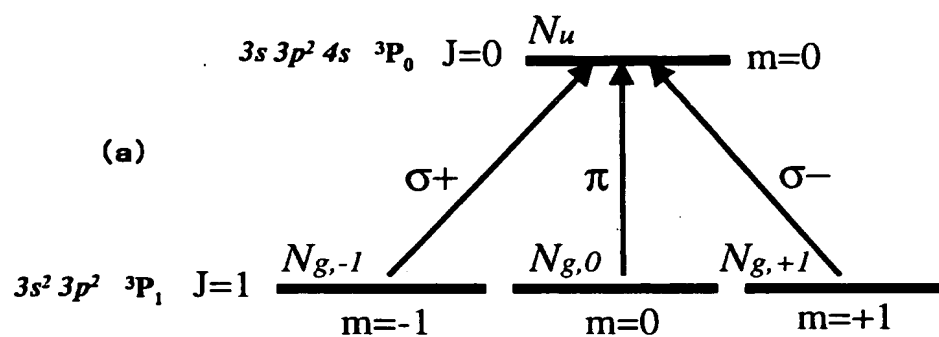
$$\Delta \nu_D = 2\nu_0 \left((2k_B T / Mc^2) \ln 2 \right)^{1/2} = 2 \cdot 1.18735651 \times 10^{15} \cdot (2 \times 1.380658 \times 10^{-23} \times T / (27.976957 \cdot 1.6605402 \times 10^{-27} \times 2.99792458 \times 10^8 \times 2.99792458 \times 10^8) \cdot \ln 2)^{1/2} = 160.7815759 \cdot T^{1/2} \text{ MHz}$$

温度 T で熱平衡にある気体分子では、原子が不規則なブラウン運動をしていて、各原子は少しずつ異なる共鳴周波数をもっていて、その各原子ごとに自然幅をもつ。

したがって、気体分子のような場合、自然放光のスペクトル分布の包絡線は、各原子の中心周波数のばらつきを反映する。このような広がりを不均一広がりという。

$$\text{融点温度でのドップラー幅} \quad 6045.9 \text{ MHz} = 6.0459 \text{ GHz}$$

【図4】



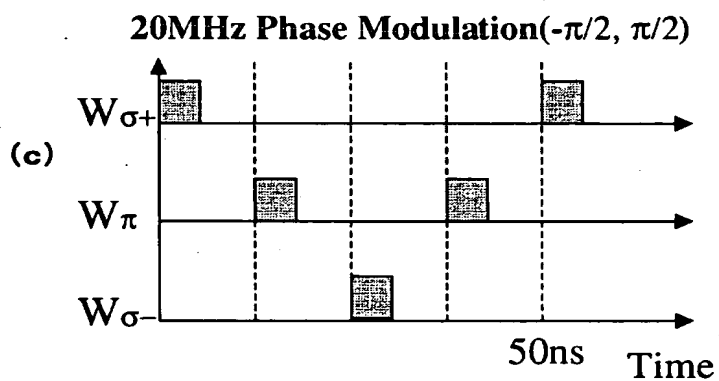
(b)

$$\frac{dN_u}{dt} = W_{\sigma+} + W_{\pi} + W_{\sigma-} - \frac{N_u}{\tau}$$

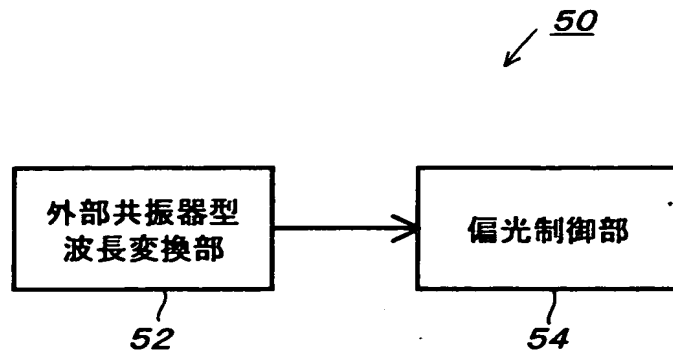
$$\frac{dN_{g,-1}}{dt} = -W_{\sigma+} + \frac{N_u}{3\tau}$$

$$\frac{dN_{g,0}}{dt} = -W_{\pi} + \frac{N_u}{3\tau}$$

$$\frac{dN_{g,+1}}{dt} = -W_{\sigma-} + \frac{N_u}{3\tau}$$



【図 5】

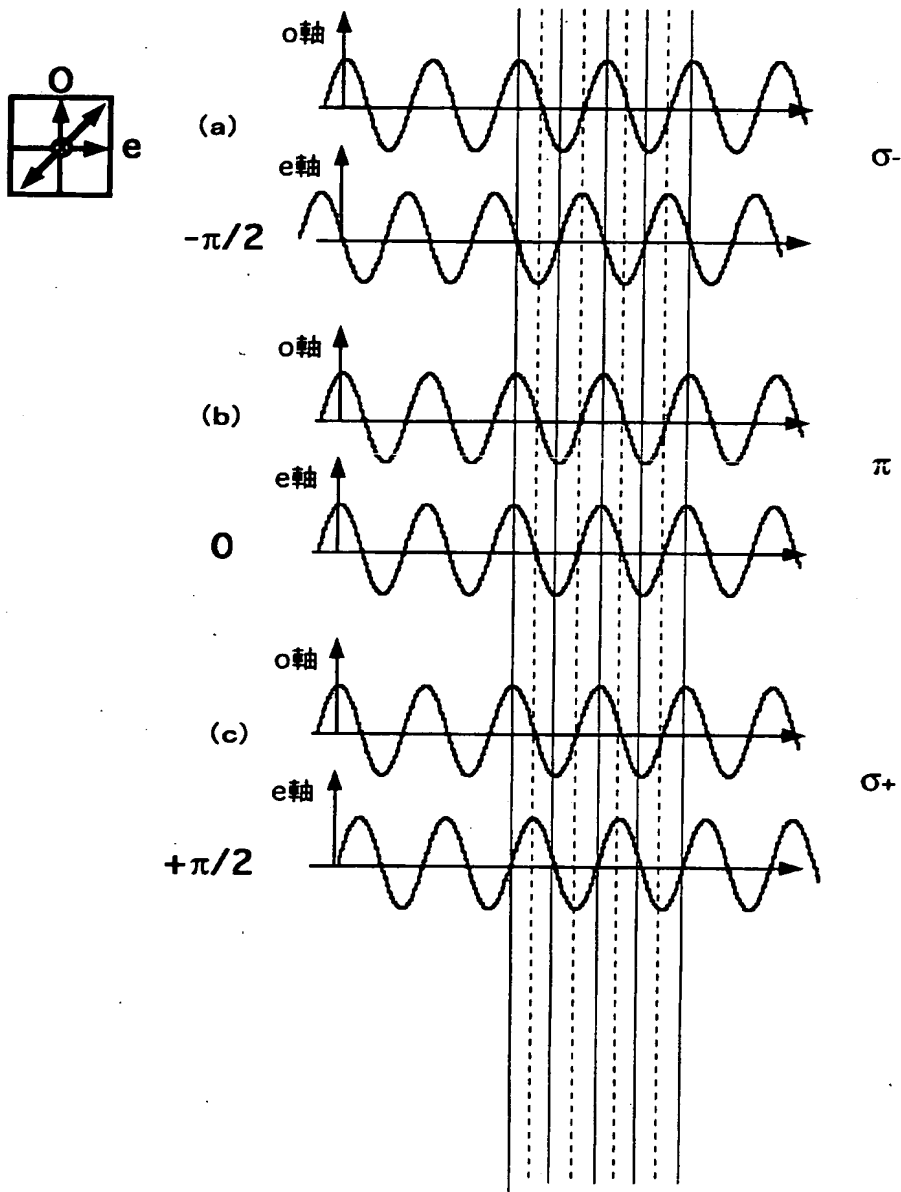


【図 6】

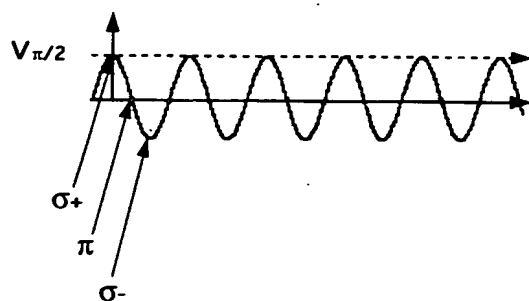
複屈折結晶

 n_o : 常光線屈折率 n_e : 異常光線屈折率ここでは $n_o < n_e$ とする。(n_e 軸で位相が遅れる)

$$\Phi = 2\pi(n_o - n_e)d/\lambda$$



【図 7】

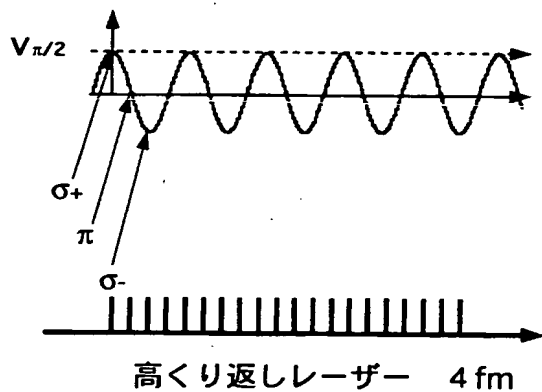


- ・ 1光子の吸収・放出に要する時間： $2\tau=11\text{ns}$ ($\tau=5.5\text{ns}$)



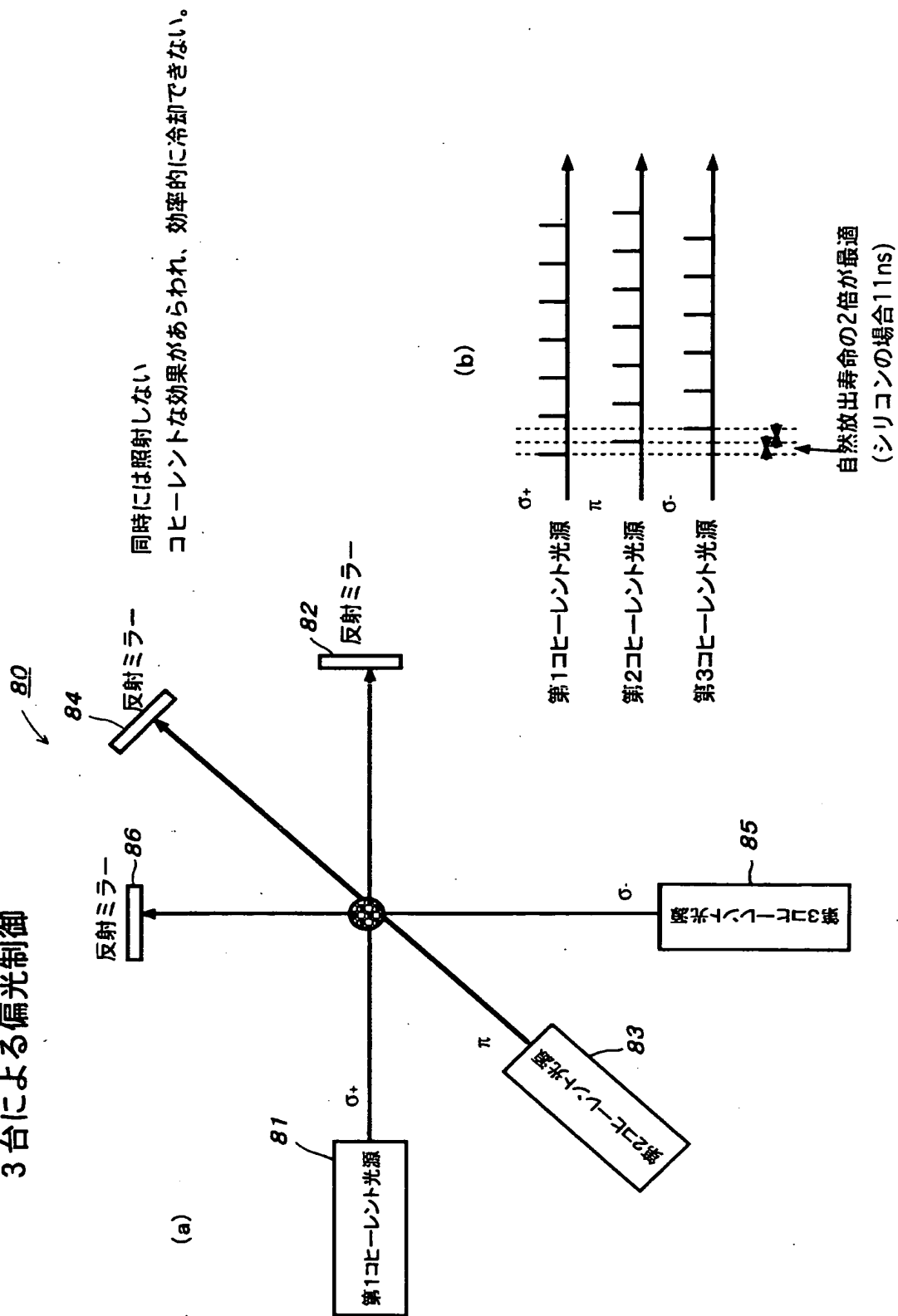
次の光子は11ns 後に当たると効率的

周期 $11\text{ns} \times 4 = 44\text{ns}$ \rightarrow 位相変調器の周波数 $f_m < 22.7\text{MHz}$



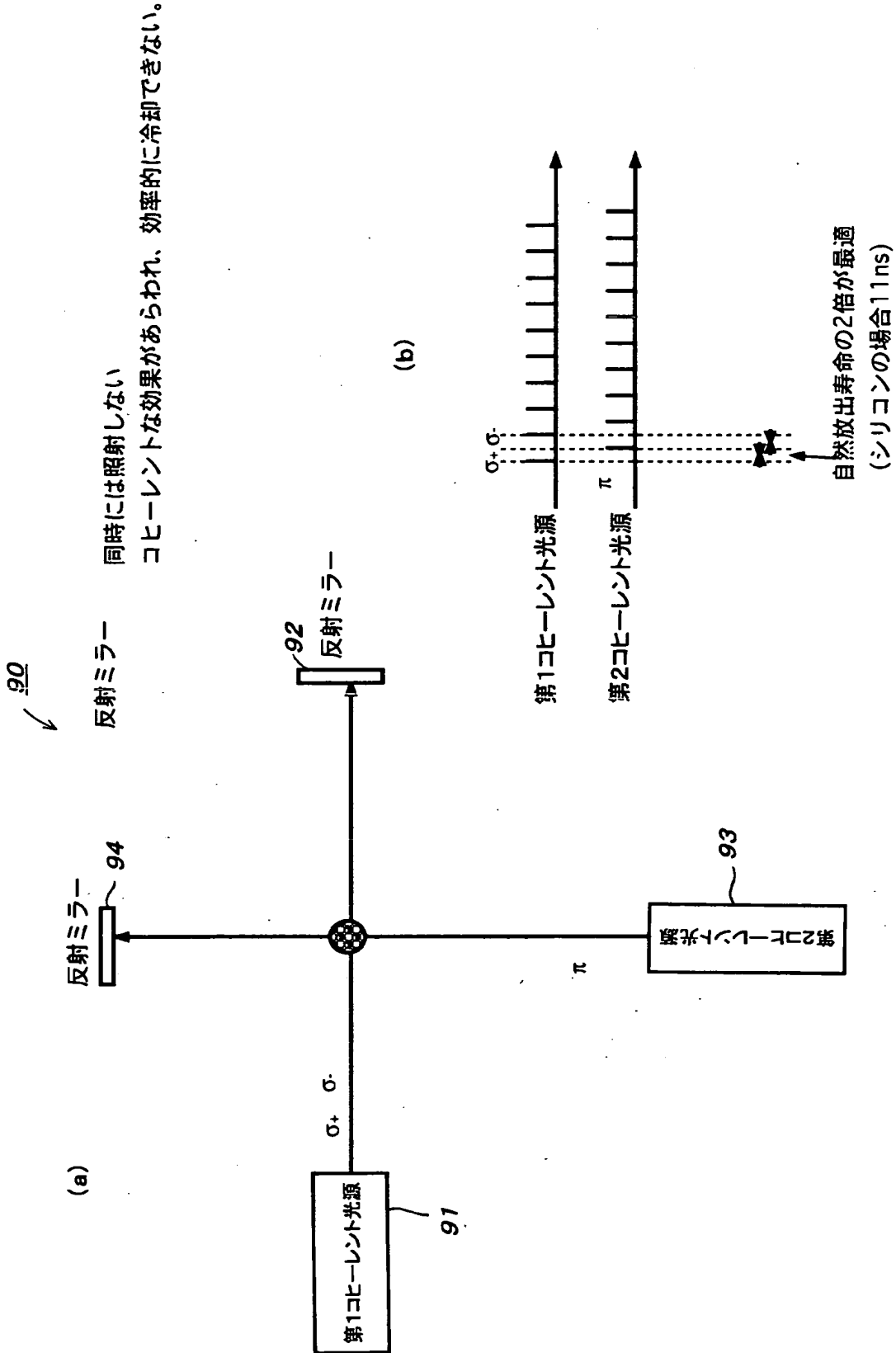
【図 8】

3 台による偏光制御

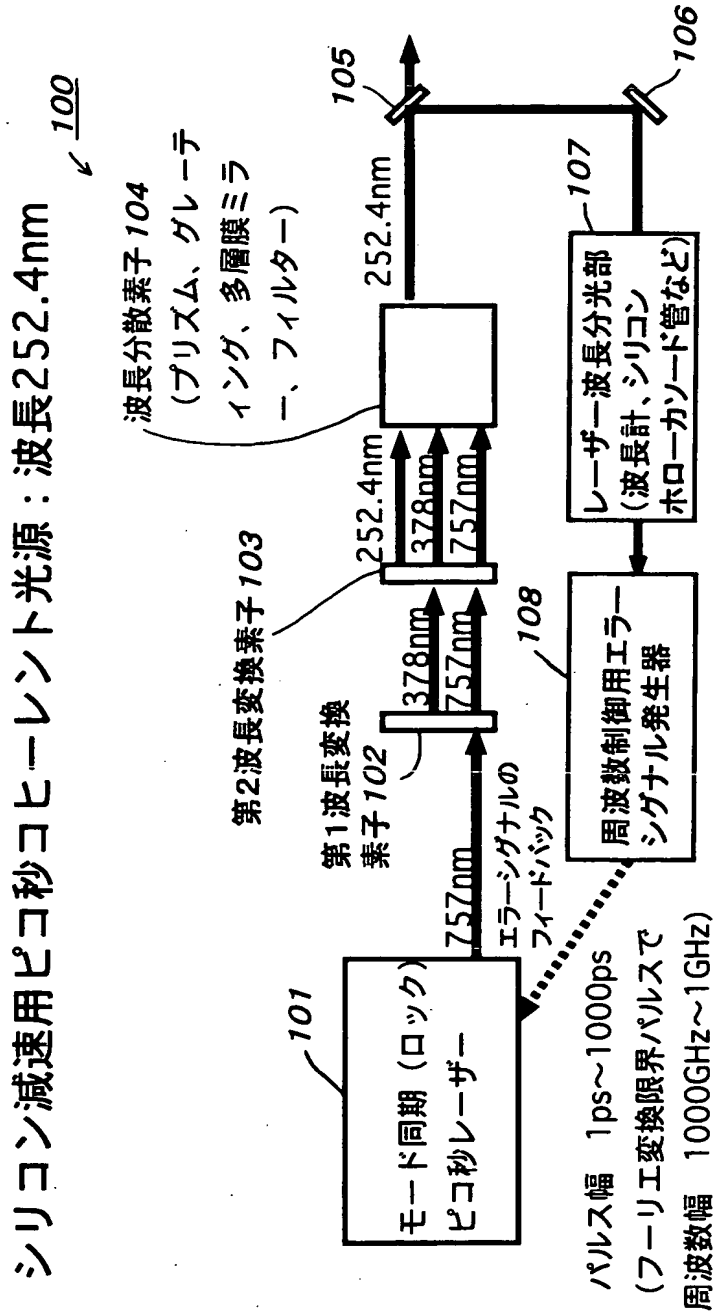


【図 9】

2台による偏光制御



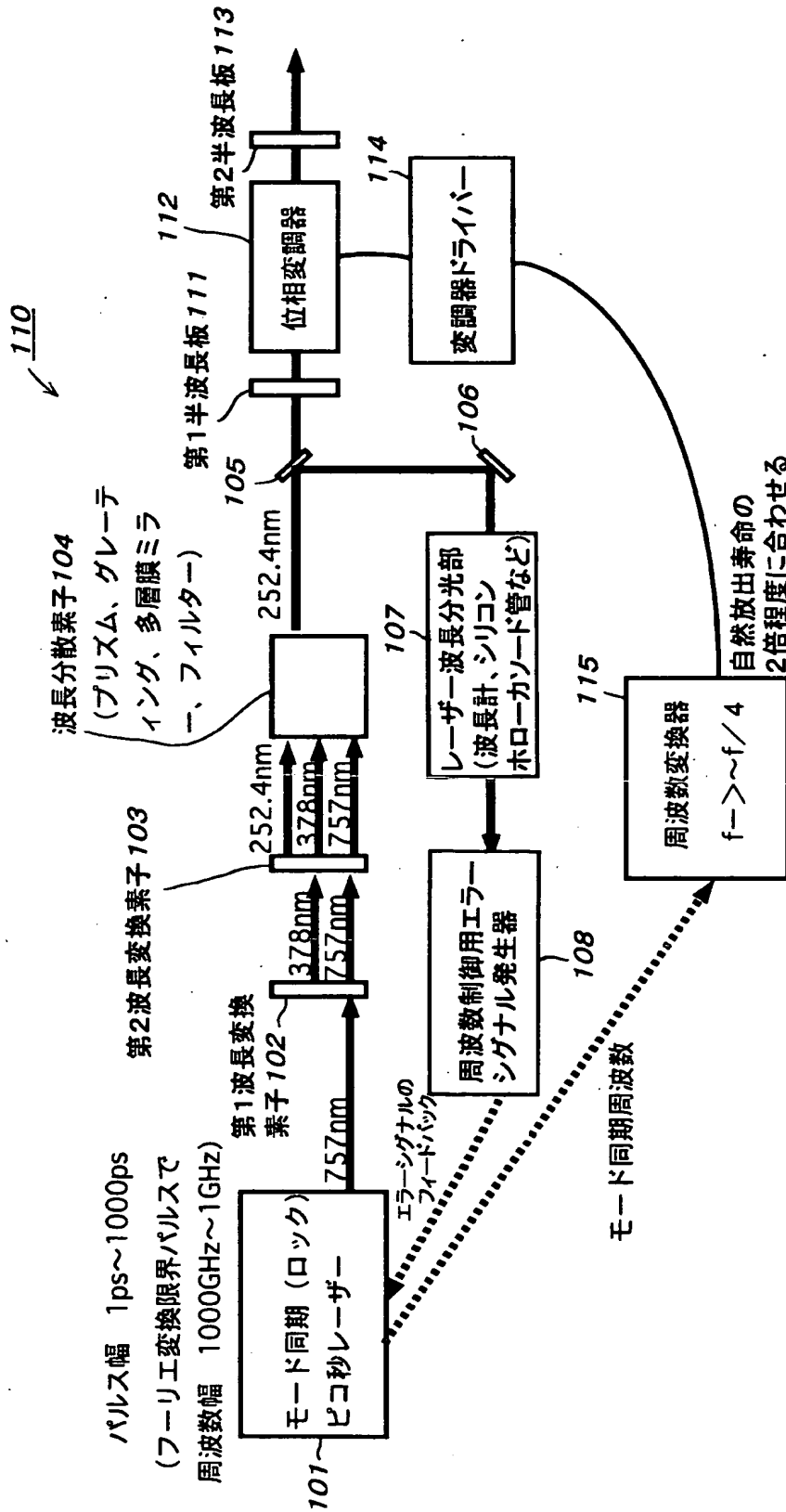
【図10】



378nmは757nmの第2高調波で、252.4nmは757nmの第3高調波

【図11】

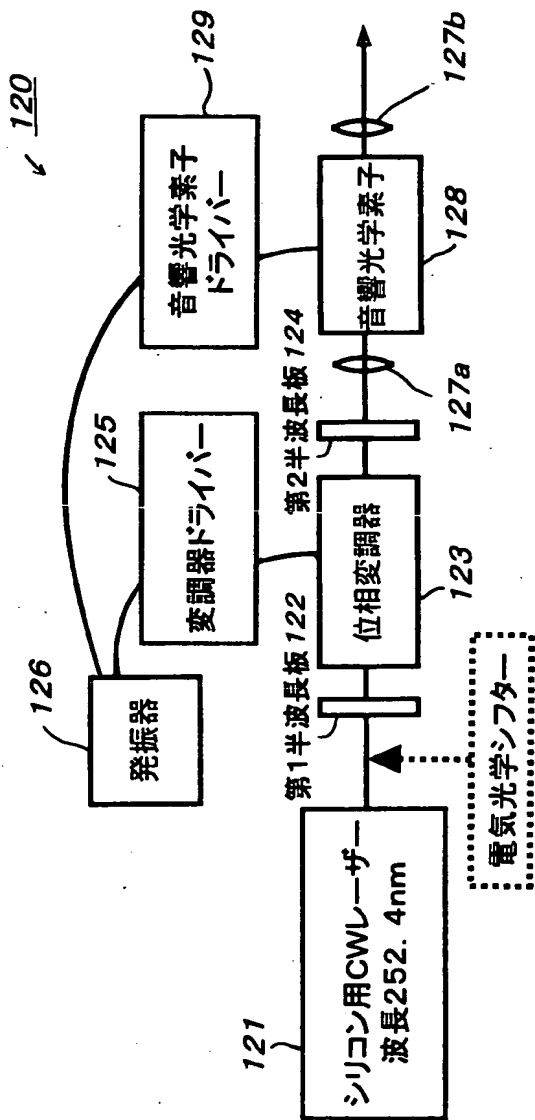
偏光制御機能を付加したシリコン減速用ピコ秒コヒーレント光源：波長252.4nm



378nmは757nmの第2高調波で、252.4nmは757nmの第3高調波

【図 1 2】

偏光制御機能を付加したシリコン減速/冷却用CWコヒーレント光源：波長252.4nm

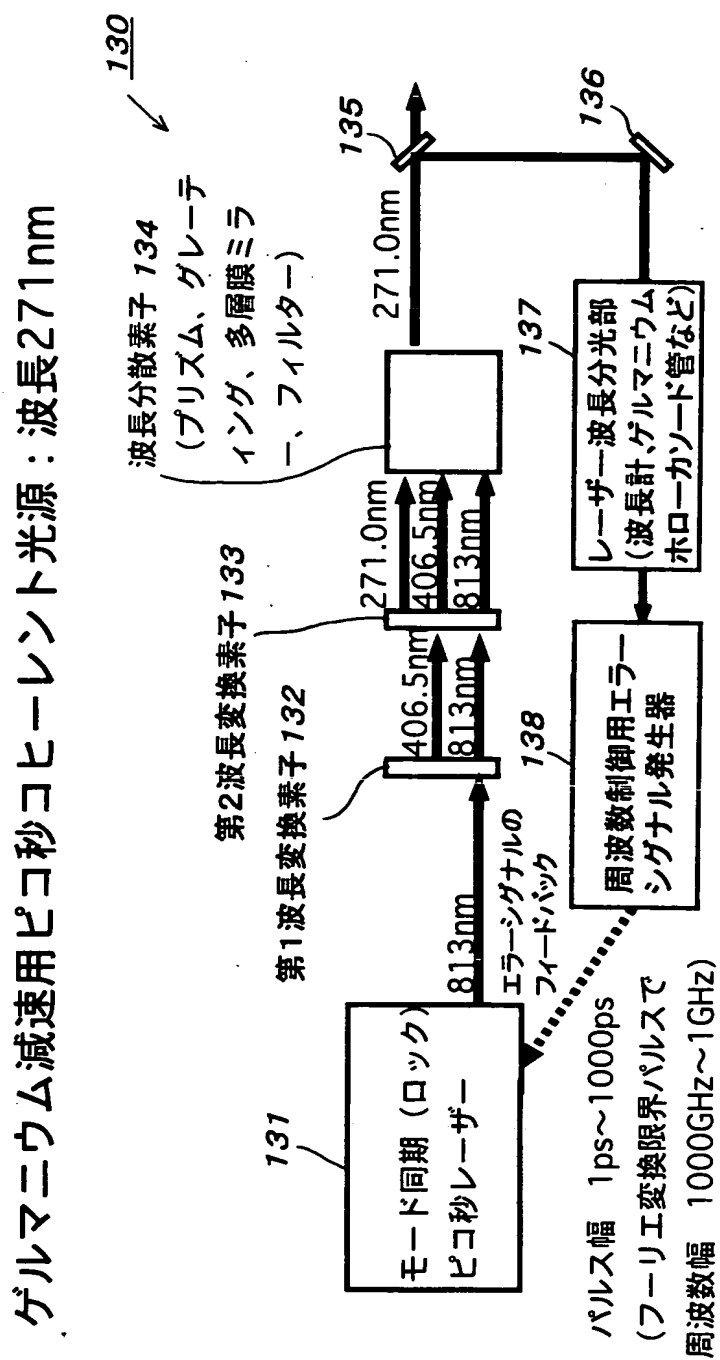


シリコン減速：音響光学素子を使って時間的に周波数を変化させる(チャープ冷却)

シリコン冷却：音響光学素子は時間的に偏光を分離する効果と周波数を最適化するのに都合がよい。

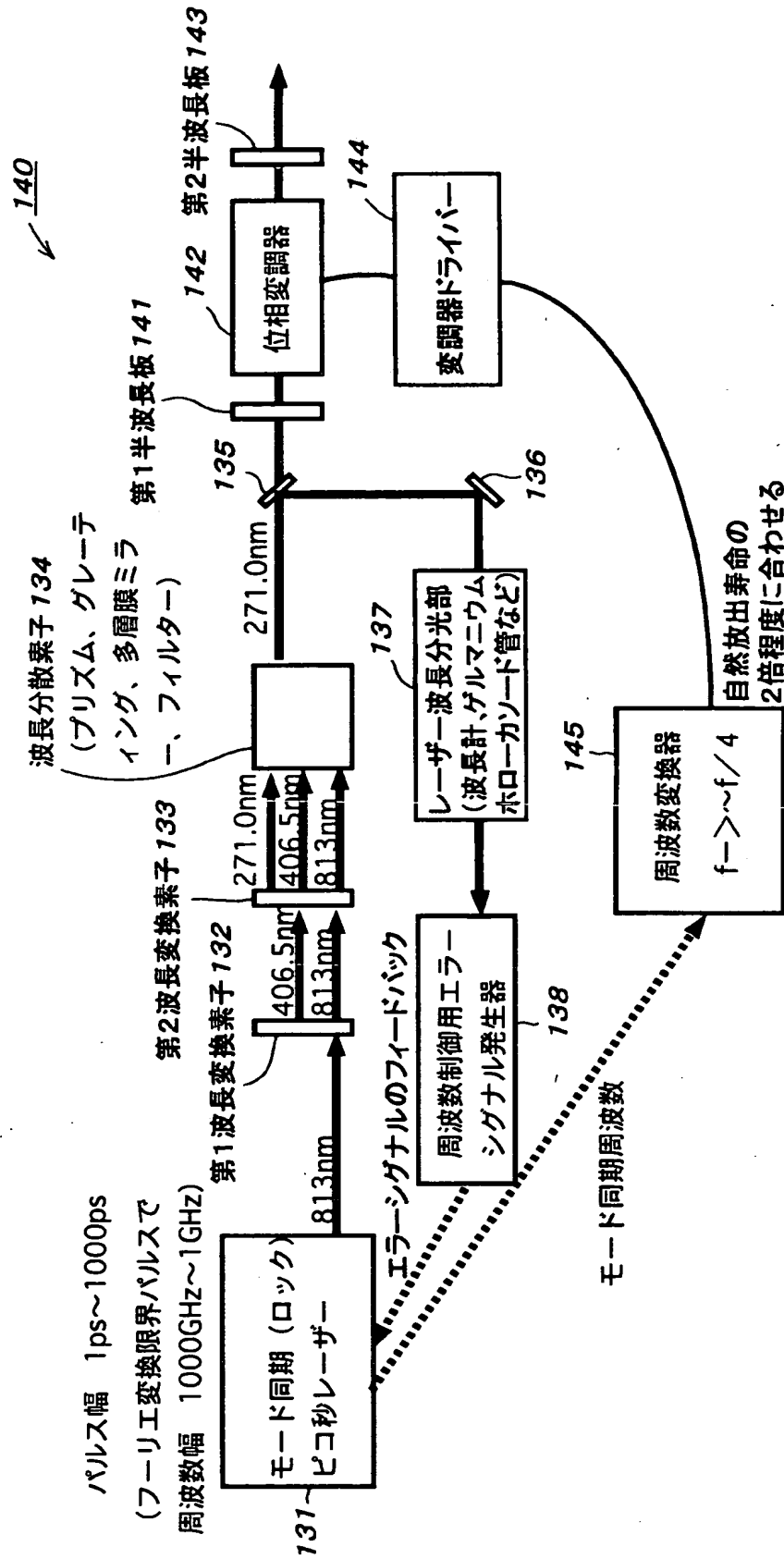
なお、電気光学シフター(EOシフター)を追加して周波数シフト量をかせただ方がチャープ冷却には有効な場合がある。

【图 13】



【図 14】

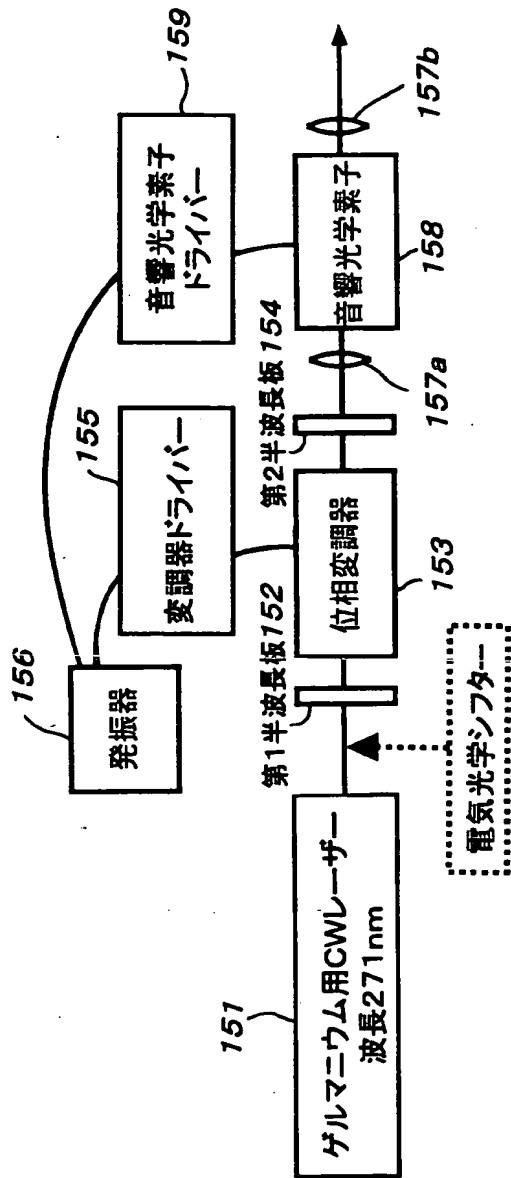
偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速用ピコ秒光源：波長271nm



406.5nmは813nmの第2高調波で、271nmは813nmの第3高調波

【図 1 5】

偏光制御機能を付加したゲルマニウム減速/冷却用CWコヒーレント光源：波長271nm



ゲルマニウム減速：音響光学素子を使って時間的に周波数を変化させる(チャープ冷却)

ゲルマニウム冷却：音響光学素子は時間的に偏光を分離する効果と周波数を最適化するのに都合がよい。

なお、電気光学シフター(EOシフター)を追加して周波数シフト量をかせいだ方がチャープ冷却には有効な場合がある。

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 シリコンやゲルマニウムなどの半導体原子を含む各種の原子をレーザー冷却することを可能にする。

【解決手段】 エネルギー準位における基底状態の冷却下準位として複数の磁気副準位を有する原子をレーザー冷却する原子のレーザー冷却方法であって、レーザー冷却の対象となる原子の基底状態の冷却下準位たる複数の磁気副準位に応じた複数の異なる偏光をそれぞれ有する所定波長のコヒーレント光を、所定の時間間隔でずらして順次に原子に照射するようにした。

【選択図】 図 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006792]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	埼玉県和光市広沢2番1号
氏 名	理化学研究所